



Analisis Kuar Geser Tanah Dengan Bentonite Dan Kaolinite Sebagai Material Pencampur Melalui Metode Soil Deep Mixing

Daniel K. Kawengian^{#a}, Steeva G. Rondonuwu^{#b}, Roski R. I. Legrans^{#c}

[#]Program Studi Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia
^adanielkawengian27@gmail.com, ^bsteeva_rondonuwu@unsrat.ac.id, ^clegransroski@unsrat.ac.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penggunaan bentonite dan kaolinite sebagai material pencampur pada metode Soil Deep Mixing terhadap peningkatan kuat geser tanah. *Metode Soil Deep Mixing* dipilih sebagai salah satu teknik perbaikan tanah yang efektif, khususnya untuk tanah dengan daya dukung rendah dan sifat mekanik yang lemah. Dalam penelitian ini, dilakukan pencampuran tanah asli dengan variasi jumlah kolom stabilisasi bentonite dan kaolinite, yang kemudian diuji menggunakan metode uji geser langsung (*Direct Shear Test*) untuk memperoleh nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ). Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan bentonite secara umum meningkatkan nilai kohesi tanah, sedangkan kaolinite lebih berkontribusi pada peningkatan sudut geser dalam. Kombinasi kedua material tersebut menghasilkan peningkatan kuat geser yang signifikan dibandingkan tanah asli tanpa perlakuan. Selain itu, variasi jumlah kolom stabilisasi juga mempengaruhi hasil pengujian, di mana semakin banyak jumlah kolom memberikan perbaikan kekuatan yang lebih optimal. Penelitian ini memberikan kontribusi dalam pengembangan alternatif material pencampur ramah lingkungan dan ekonomis untuk perbaikan tanah dengan metode Soil Deep Mixing.

Kata kunci: kuat geser tanah, bentonite, kaolinite, soil deep mixing, stabilisasi tanah

1. Pendahuluan

Tanah merupakan material utama dalam konstruksi sipil, namun sering ditemukan kondisi di mana tanah memiliki kuat geser rendah sehingga tidak memenuhi persyaratan teknis. Tanah berpasir umumnya memiliki kohesi rendah, meski permeabilitasnya tinggi, sehingga rentan terhadap penurunan (*settlement*) dan keruntuhan. Oleh karena itu, upaya perbaikan tanah diperlukan untuk meningkatkan stabilitas dan daya dukungnya.

Metode Soil Deep Mixing (SDM) telah terbukti efektif dalam memperbaiki tanah lunak dan berpasir melalui pencampuran bahan pengikat dengan tanah in-situ. Penggunaan material tambahan seperti bentonite dan kaolinite sebagai alternatif pengikat dapat meningkatkan kohesi dan interaksi antar butiran tanah. Penelitian ini berfokus pada analisis pengaruh variasi kolom bentonite dan kaolinite terhadap kuat geser tanah berpasir melalui uji geser langsung.

2. Landasan Teori

Perbaikan tanah dapat dilakukan melalui metode mekanis, kimiawi, maupun biologis. Soil Deep Mixing merupakan salah satu metode kimiawi yang bekerja dengan mencampurkan material tertentu secara in-situ hingga kedalaman tertentu. Menurut Terashi (2003), SDM dapat meningkatkan daya dukung tanah melalui pembentukan kolom stabilisasi.

Bentonite adalah jenis lempung montmorillonite yang memiliki kemampuan mengembang tinggi, daya serap air besar, serta meningkatkan kohesi pada tanah campuran. **Kaolinite** adalah jenis lempung dengan stabilitas volumetrik tinggi, sifat ekspansi rendah, dan dapat meningkatkan sudut geser dalam tanah. Parameter utama kuat geser tanah ditentukan

melalui kriteria Mohr-Coulomb:

$$\tau = c + \sigma \cdot \tan(\varphi)$$

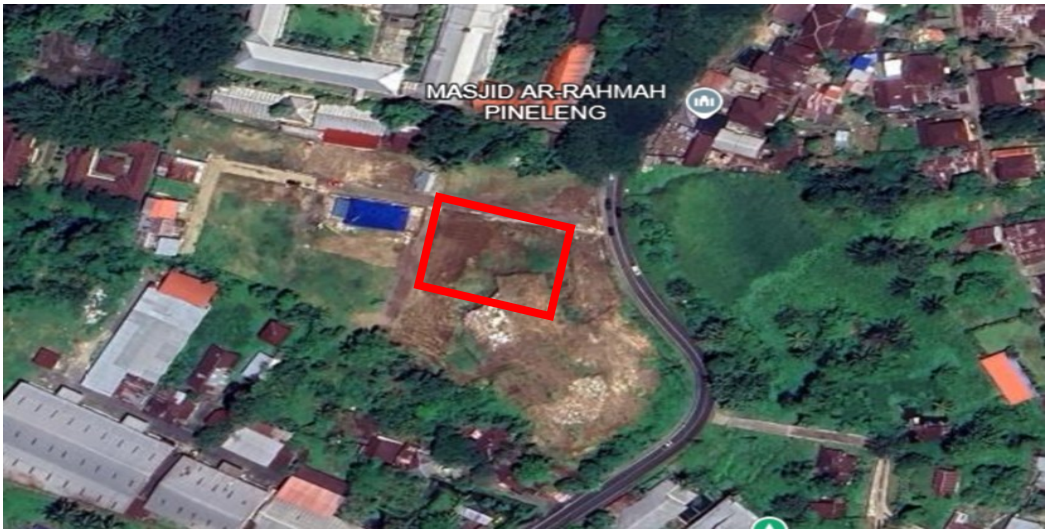
(1)

dimana τ adalah tegangan geser, c adalah kohesi (kPa), σ adalah tegangan normal (kPa), dan φ adalah sudut geser dalam derajat.

3. Metode Penelitian

3.1 Lokasi dan Material

Material yang digunakan berupa bentonite dan kaolinite diuji sifat fisiknya sebelum dicampurkan. Sampel tanah diambil dari Desa Lotta, Kecamatan Pineleng, Sulawesi Utara.



Gambar 1. Lokasi Pengambilan Sampel di Desa Lotta
(Sumber: Google Earth)

3.2 Variasi Benda Uji

Benda uji dibuat dengan variasi jumlah kolom: 1 kolom, 2 kolom, dan 3 kolom. Masing-masing menggunakan bentonite dan kaolinite.

Tabel 1. Varian Sampel Stabilisasi

NO	Jumlah Kolom		Sampel
	Bentonite	Kaolinite	
1	3	3	
2	3	3	
3	3	3	

4. Hasil dan Pembahasan

4.1. Pengujian Pendahuluan

Pengujian pendahuluan adalah pengujian yang dilakukan sebelum tanah asli distabilisasikan dengan bentonite dan kaolinite. Pada pengujian ini dilakukan uji sifat fisis tanah dan mekanis kadar air, berat jenis, batas-batas atterberg, dan analisa saringan, serta penentuan klasifikasi tanah yang akan digunakan sebagai benda uji.

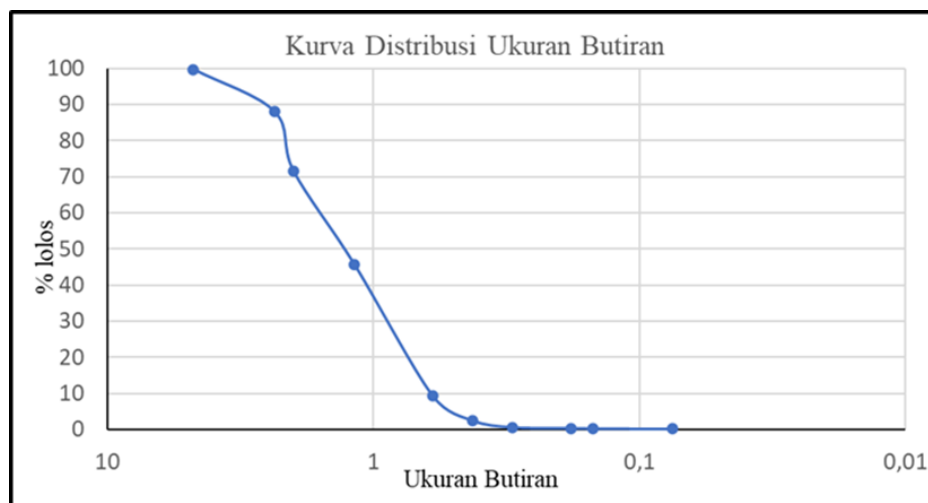
4.1.1 Hasil Pengujian Karakteristik Tanah

Pengujian sifat fisik tanah dilakukan di laboratorium mekanika Tanah dengan hasil seperti yang ditampilkan pada tabel berikut.

Tabel 2. Hasil Pengujian Karakteristik Tanah

No	Pengujian	Nilai
1	Kadar Air (W)	52,56%
2	Berat Jenis (Gs)	1,96 gr/cm ³
3	Batas Cair (LL)	75%
4	Batas Plastis (PL)	34,72%
5	Batas Plastisitas (PI)	40,28%
6	Analisa Saringan	
	Lolos Saringan No.4	99,70%
	Lolos Saringan No.40	2,60%
	Lolos Saringan No.200	0,20%

Berdasarkan pada Tabel 2 menunjukkan hasil dari pengujian karakteristik tanah yang digunakan sebagai benda uji pada penelitian ini adalah tanah pasir berlempung. Sedangkan hasil analisis saringan ditampilkan dalam kurva distribusi ukuran butiran berikut.



Gambar 2. Kurva Distribusi Ukuran Butiran

4.1.2 Klasifikasi Tanah

Berdasarkan hasil uji fisik tanah yang telah dilakukan, tanah asli yang diambil dari Desa Lotta menunjukkan kombinasi karakteristik antara butiran kasar (pasir) dan fraksi halus (lempung). Hasil analisa saringan menunjukkan bahwa sebagian besar tanah lolos dari saringan No.200 (ukuran 0,075 mm) dalam jumlah yang sangat kecil, sehingga menurut AASHTO dan USCS, tanah ini secara dominan termasuk dalam kategori tanah berbutir kasar (pasir).

Namun, hasil pengujian batas konsistensi (Atterberg) menunjukkan nilai batas cair (LL)

sebesar 75%, batas plastis (PL) sebesar 34,72%, dan indeks plastisitas (PI) sebesar 40,28%, yang merupakan ciri khas dari tanah lempung. Selain itu, kadar air tanah yang tinggi dan berat jenis rendah juga menunjukkan adanya kandungan material halus. Kombinasi antara ukuran butiran pasir dan sifat plastis kohesif menunjukkan bahwa tanah tersebut tidak murni pasir, melainkan pasir yang bercampur dengan lempung dalam cukup besar, sehingga secara teknis dapat diklasifikasikan sebagai tanah berpasir lempung (*sandy clay*).

4.2 Pengujian Utama

Pengujian utama pada penelitian ini merupakan pengujian dimana benda uji yaitu tanah distabilisasikan dengan kolom bentonite dan kaolinite yang direncanakan, kemudian dilakukan pengujian kuat geser tanah melalui uji kuat geser langsung untuk mendapatkan nilai kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ).

Tabel 3. Hasil Pengujian Kuat Geser Tanah

Tanah Uji	No	Berat Beban (Kg)	Berat Ring (g)	F (cm ²)	Teg. Normal (kPa)	Teg. Geser (kPa)
Tanah Asli	I	3	41,1	31,156	9,6287	14,5472
	II	6	41,1	31,156	19,2575	12,0165
	III	9	41,1	31,156	28,8862	9,4858
Bentonite Varian 1	I	3	41,1	31,156	9,6287	8,4981
	II	6	41,1	31,156	19,2575	2,1078
	III	9	41,1	31,156	28,8862	-4,2825
Bentonite Varian 2	I	3	41,1	31,156	9,6287	23,1724
	II	6	41,1	31,156	19,2575	24,4500
	III	9	41,1	31,156	28,8862	25,7276
Bentonite Varian 3	I	3	41,1	31,156	9,6287	33,7124
	II	6	41,1	31,156	19,2575	37,2101
	III	9	41,1	31,156	28,8862	40,7079
Kaolinite Varian 1	I	3	41,1	31,156	9,6287	34,7057
	II	6	41,1	31,156	19,2575	40,9483
	III	9	41,1	31,156	28,8862	47,1908
Kaolinite Varian 2	I	3	41,1	31,156	9,6287	26,5584
	II	6	41,1	31,156	19,2575	26,4053
	III	9	41,1	31,156	28,8862	26,2522
Kaolinite Varian 3	I	3	41,1	31,156	9,6287	28,4813
	II	6	41,1	31,156	19,2575	31,1269
	III	9	41,1	31,156	28,8862	33,7724

(Sumber : Hasil Pengolahan Data, 2025)

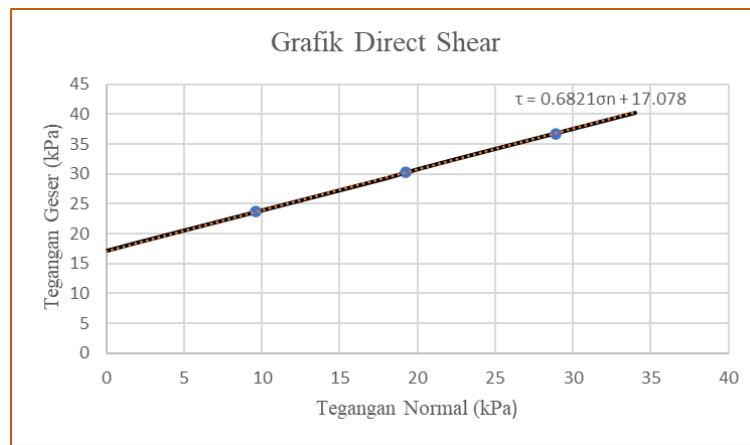
Pada Tabel 3 menunjukkan data hasil pengujian kuat geser langsung tanah. Pengujian dilakukan terhadap tanah asli dan tanah yang distabilisasi dengan bentonite dan kaolinite. Pada hasil pengujian diperoleh hubungan antara nilai tegangan normal dan tegangan geser. Rumus untuk mendapatkan nilai tegangan normal dan tegangan geser adalah:

$$\text{Tegangan normal } (\sigma) = \frac{\text{Gaya Normal (N)}}{\text{Luas Penampang (A)}} \quad (2)$$

$$\text{Tegangan Geser} = \frac{\text{Gaya Geser (T)}}{\text{Luas Penampang (A)}} \quad (3)$$

1. Nilai Kuat Geser Tanah Asli

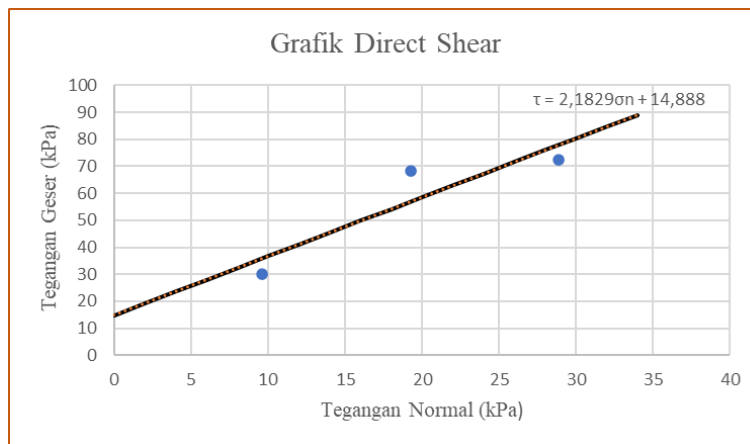
Gambar 3 menerangkan hubungan antara tegangan normal dan tegangan geser yang diperoleh berdasarkan pengujian kuat geser tanah asli. Dari hasil perhitungan, diperoleh parameter kuat geser tanah yaitu nilai kohesi (c) = 17,1 kPa dan nilai sudut geser dalam (ϕ) = 34,3°.



Gambar 3. Hubungan Tegangan Normal dan Tegangan Geser (Tanah Asli)

2. Nilai Kuat Geser Tanah (Bentonite Varian 1)

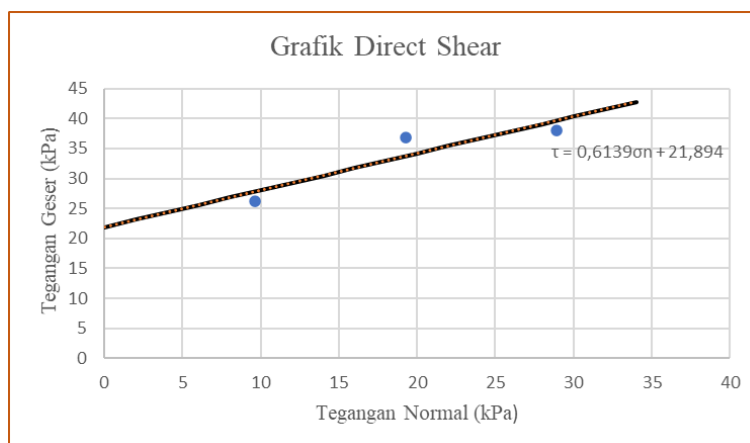
Gambar 4 menerangkan hubungan antara tegangan normal dan tegangan geser yang diperoleh berdasarkan pengujian kuat geser tanah asli. Dari hasil perhitungan, diperoleh parameter kuat geser tanah yaitu nilai kohesi (c) = 14,9 kPa dan nilai sudut geser dalam (ϕ) = 65,4°.



Gambar 4. Hubungan Tegangan Normal dan Tegangan Geser (Bentonite Varian 1)

3. Nilai Kuat Geser Tanah (Bentonite Varian 2)

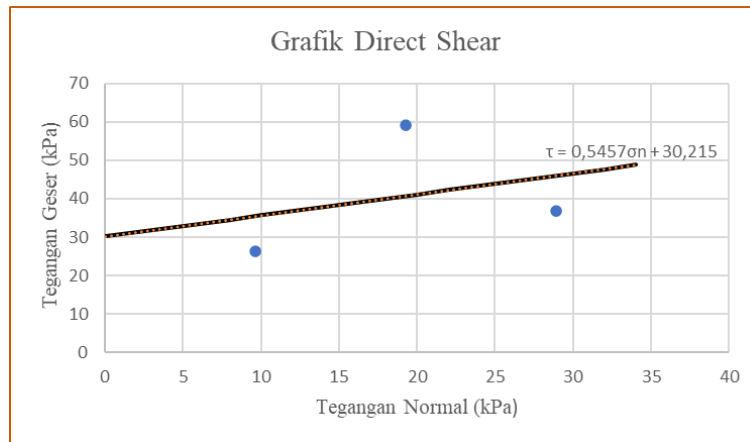
Gambar 5 menerangkan hubungan antara tegangan normal dan tegangan geser yang diperoleh berdasarkan pengujian kuat geser tanah asli. Dari hasil perhitungan, diperoleh parameter kuat geser tanah yaitu nilai kohesi (c) = 21,9 kPa dan nilai sudut geser dalam (ϕ) = 31,5°.



Gambar 5. Hubungan Tegangan Normal dan Tegangan Geser (Bentonite Varian 2)

4. Nilai Kuat Geser Tanah (Bentonite Varian 3)

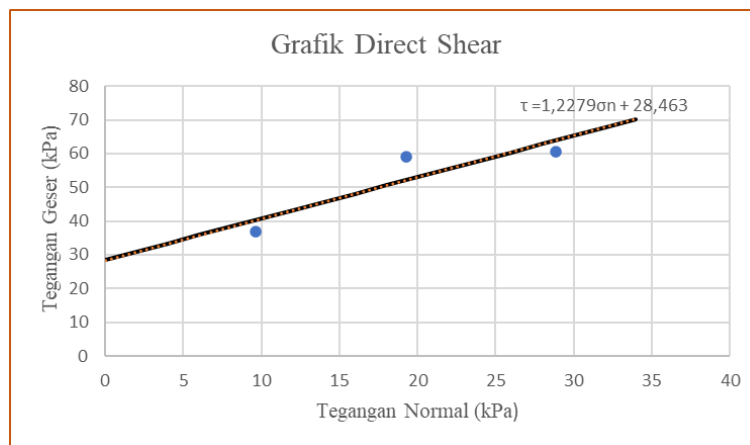
Pada Gambar 6 menerangkan hubungan antara tegangan normal dan tegangan geser yang diperoleh berdasarkan pengujian kuat geser tanah asli. Dari hasil perhitungan, diperoleh parameter kuat geser tanah yaitu nilai kohesi (c) = 30,2 kPa dan nilai sudut geser dalam (ϕ) = 28,6°.



Gambar 6. Hubungan Tegangan Normal dan Tegangan Geser (Bentonite Varian 3)

5. Nilai Kuat Geser Tanah (Kaolinite Varian 1)

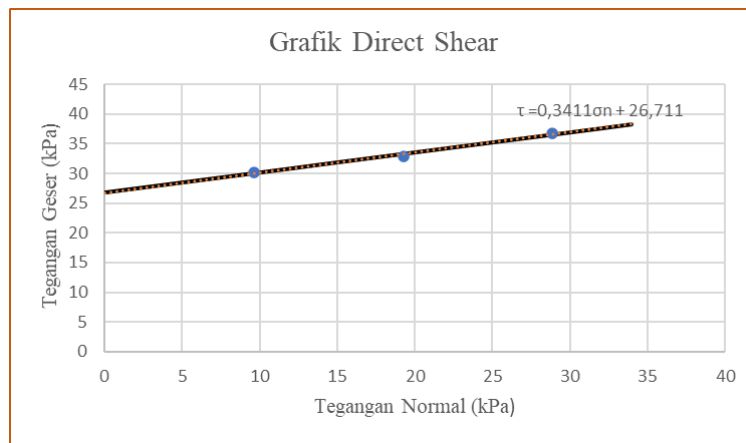
Gambar 7 menerangkan hubungan antara tegangan normal dan tegangan geser yang diperoleh berdasarkan pengujian kuat geser tanah asli. Dari hasil perhitungan, diperoleh parameter kuat geser tanah yaitu nilai kohesi (c) = 28,5 kPa dan nilai sudut geser dalam (ϕ) = 50,8°.



Gambar 7. Hubungan Tegangan Normal dan Tegangan Geser (Kaolinite Varian 1)

6. Nilai Kuat Geser Tanah (Kaolinite Varian 2)

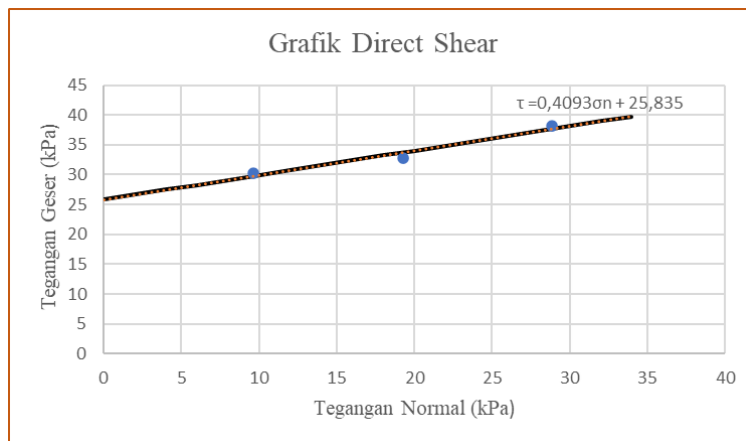
Pada Gambar 8 menerangkan hubungan antara tegangan normal dan tegangan geser yang diperoleh berdasarkan pengujian kuat geser tanah asli. Dari hasil perhitungan, diperoleh parameter kuat geser tanah yaitu nilai kohesi (c) = 26,7 kPa dan nilai sudut geser dalam (ϕ) = 18,8°.



Gambar 8. Hubungan Tegangan Normal dan Tegangan Geser (Kaolinite Varian 2)

7. Nilai Kuat Geser Tanah (Kaolinite Varian 3)

Pada Gambar 9 menerangkan hubungan antara tegangan normal dan tegangan geser yang diperoleh berdasarkan pengujian kuat geser tanah asli. Dari hasil perhitungan, diperoleh parameter kuat geser tanah yaitu nilai kohesi (c) = 25,8 kPa dan nilai sudut geser dalam (ϕ) = 22,6°.



Gambar 9. Hubungan Tegangan Normal dan Tegangan Geser (Kaolinite Varian 3)

4.3 Hubungan Stabilisasi Bentonite, Kaolinite, dan Parameter Kuat Geser Tanah

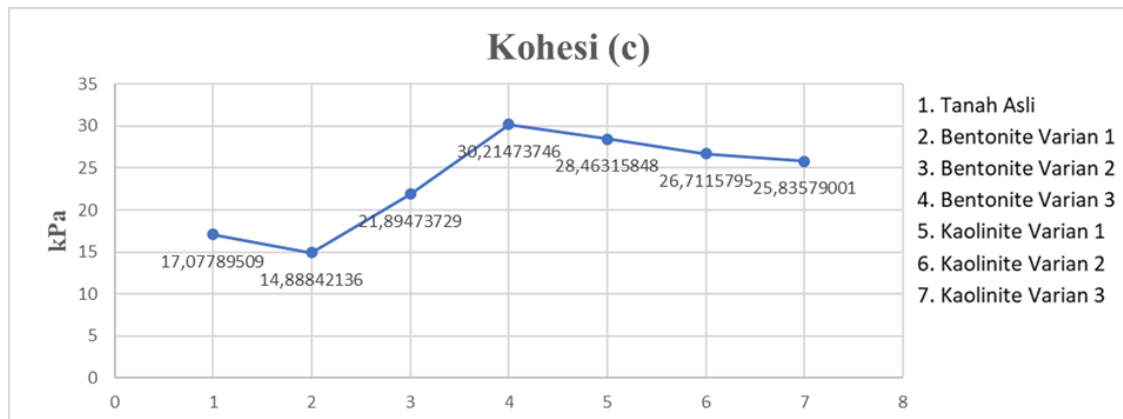
Tanah yang distabilisasi dengan bentonite dan kaolinite mampu bereaksi dengan tanah, sehingga menjadikan butiran tanah menjadi lebih besar, dengan demikian tanah yang distabilisasikan dapat meningkatkan kuat gesernya.

Tabel 4. Analisis Parameter Kuat Geser Tanah

No	Tanah Pengujian	Nilai Kohesi (c)	Sudut Geser Dalam (Φ)
1	Tanah Asli	17,0779	34,3005
2	Bentonite Varian 1	14,8884	65,3875
3	Bentonite Varian 2	21,8947	31,5478
4	Bentonite Varian 3	30,2147	28,6228
5	Kaolinite Varian 1	28,4632	50,8407
6	Kaolinite Varian 2	26,7116	18,8337
7	Kaolinite Varian 3	25,8358	22,2593

Hasil pada Tabel 4 menjelaskan bahwa secara keseluruhan nilai parameter kuat geser tanah akibat pengaruh dari stabilisasi kolom bentonite dan kaolinite.

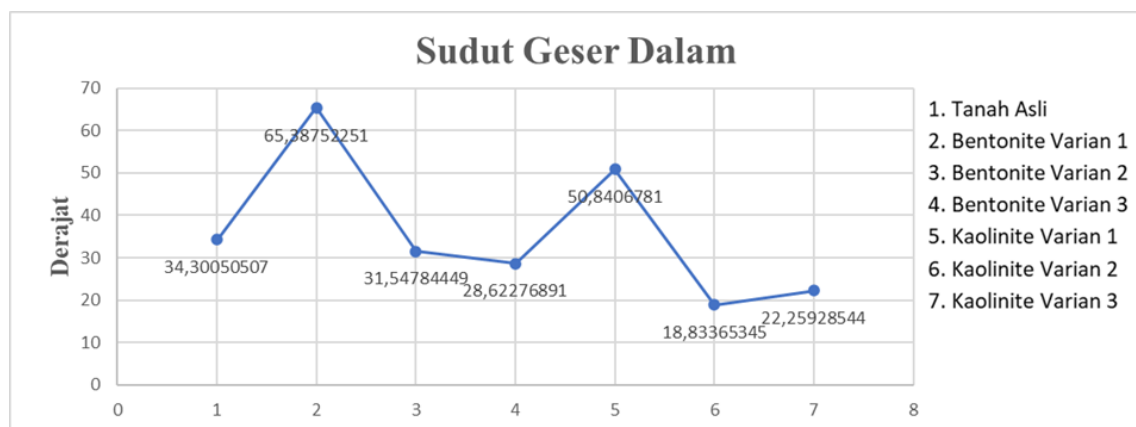
A. Nilai kohesi (c)



Gambar 10. Grafik Nilai Kohesi (c)

Grafik pada Gambar 10 menunjukkan bahwa peningkatan kuat geser tanah akibat stabilisasi bentonite dan kaolinite dapat dilihat dari adanya peningkatan nilai kohesi. Sebelumnya tanah asli mempunyai nilai kohesi (c) 17,0778 kPa dan setelah distabilisasi nilai kohesi terus mengalami kenaikan.

B. Nilai Sudut Geser Dalam (ϕ)



Gambar 11. Grafik Nilai Sudut Geser Dalam (ϕ)

Dari Gambar 11 diatas menunjukkan bahwa dengan distabilisasi bentonite dan kaolinite nilai sudut geser dalam mengalami peningkatan. Dengan meningkatnya nilai sudut geser berarti bahwa kualitas geser tanah menjadi semakin baik.

4.4 Pembahasan

Berdasarkan hasil pengujian kuat geser terhadap tanah asli dan tanah yang telah distabilisasi dengan bentonite dan kaolinite, diperoleh perbandingan yang jelas mengenai peningkatan nilai parameter kuat geser, yaitu kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ), pada setiap varian campuran dan jumlah kolom.

Tanah asli menunjukkan nilai kohesi dan sudut geser dalam yang rendah, dimana hal tersebut mencerminkan kondisi tanah yang lemah dan kurang mampu menahan gaya geser. Hal ini menunjukkan kebutuhan akan perbaikan tanah untuk meningkatkan kestabilan dan daya

dukung. Stabilisasi dengan Bentonite secara umum menunjukkan peningkatan signifikan pada nilai kohesi. Peningkatan jumlah kolom dari varian 1 hingga varian 3 menghasilkan kenaikan nilai kohesi yang konsisten, meskipun sudut geser dalam tidak mengalami peningkatan yang signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa bentonite berperan efektif dalam meningkatkan daya ikat antar partikel tanah. Stabilisasi dengan Kaolinite lebih berkontribusi pada peningkatan sudut geser dalam (ϕ). Nilai ϕ meningkat secara bertahap seiring bertambahnya jumlah kolom kaolinite. Namun, peningkatan nilai kohesi tidak sekuat bentonite, menandakan bahwa kaolinite lebih berpengaruh pada friksi antar butiran dibanding ikatan kohesif.

Perbandingan antara bentonite dan kaolinite menunjukkan bahwa, bentonite lebih efektif dalam meningkatkan kohesi tanah, sehingga cocok untuk tanah yang membutuhkan peningkatan kekuatan ikat internal. Kaolinite lebih efektif dalam meningkatkan sudut geser dalam, yang penting dalam menghadapi beban geser dari struktur atau timbunan. Kombinasi keduanya dalam jumlah kolom yang tepat berpotensi memberikan efek sinergis terhadap peningkatan kuat geser total. Pola jumlah kolom juga memengaruhi hasil. Semakin banyak jumlah kolom stabilisasi (1, 2, 3), semakin besar peningkatan yang dicapai baik dari segi kohesi maupun sudut geser dalam, walaupun pada beberapa variasi terlihat adanya titik penurunan akibat distribusi tegangan yang tidak merata.

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan, dapat kesimpulan sebagai berikut:

1. Penelitian ini membuktikan bahwa penambahan kolom bentonite dan kaolinite ke dalam tanah berpasir secara signifikan meningkatkan nilai kuat geser tanah. Hal ini ditunjukkan dari peningkatan parameter kohesi (c) dan sudut geser dalam (ϕ) pada semua variasi kolom, pada kolom bentonite nilai kohesi yang didapat dengan varian 1, 2, dan 3 nilainya adalah 14,888 kPa, 21,895 kPa, dan 30,215 kPa, dan nilai sudut geser dalam yang didapatkan adalah varian 1 memiliki nilai $65,387^\circ$ untuk varian 2 dan 3 yang memiliki nilai $31,547^\circ$ dan $28,622^\circ$, sedangkan pada kolom kaolinite nilai kohesi yang didapat adalah 28,463 kPa, 26,712 kPa, dan 25,835 kPa, dan nilai sudut geser dalam yang didapatkan adalah varian 1 memiliki nilai $50,841^\circ$ untuk varian 2 dan 3 memiliki nilai $18,833^\circ$ dan $22,259^\circ$. Dibandingkan dengan tanah asli yang tanpa perlakuan nilai kohesi dan sudut geser dalam yang didapat adalah 17,078 kPa dan $34,301^\circ$. Tanah hasil stabilisasi memiliki kekuatan geser lebih tinggi, sehingga menunjukkan efektivitas metode *Soil Deep Mixing* dalam memperbaiki tanah berpasir.
2. Hasil penelitian menunjukkan bahwa jumlah kolom (1, 2, dan 3 kolom) berpengaruh terhadap peningkatan kekuatan geser. Penempatan 3 kolom stabilisasi pada setiap jenis material (baik bentonite maupun kaolinite) memberikan hasil terbaik, baik dari segi peningkatan nilai kohesi maupun sudut geser dalam. Maka dapat disimpulkan bahwa susunan geometrik dengan jumlah kolom lebih banyak memberikan hasil yang paling optimal dalam meningkatkan kekuatan geser tanah.
3. Nilai kohesi dan sudut geser dalam mengalami kenaikan pada setiap variasi jumlah kolom. Bentonite lebih dominan meningkatkan kohesi tanah, dengan kenaikan paling signifikan pada varian 3 kolom. Kaolinite cenderung meningkatkan sudut geser dalam, dengan hasil terbaik juga pada varian 3 kolom. Dengan uji geser langsung, diperoleh bahwa peningkatan nilai c dan ϕ

Referensi

- Alhamdi M.K; Albusoda B.S; 2021; A Review on Deep mixing method for soil improvement June 2021 IOP Conference Series Materials Science and Engineering 1105(1):012110
DOI: 10.1088/1757-899X/1105/1/012110 License: CC BY 3.0
- Das, Braja M; Endah N; Mochtar I.B; 1993; Terjemahan Mekanika Tanah II Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis; Surabaya Institut Teknologi 10 November.
- Felina G.A, Rondonuwu S.G, Manaroinsong L.D.K (2019) Analisis Deformasi Lempung Lunak Melalui Cyclic Loading Test . Jurnal Sipil Statik, Vol 7, No 10 (2019)
- Haras M; Turangan A.E.; Legrans R.R.I; 2017, Pengaruh Penambahan Kapur Terhadap Kuat Geser Tanah Lempung.
- Kindangen K, Rondonuwu S.G, Sarajar A.N (2019)-Percepatan Konsolidasi Dengan Menggunakan Vertical Drain TEKNO, Vol 17, No 71 (2019)

- Kirihio P.F.P, Rondonuwu S.G, Sompie O.B.A (2018) - Percepatan Konsolidasi Dengan Menggunakan Horizontal Drain TEKNO, Vol 16, No 70 (2018)
- Kitazume, M., & Terashi, M. (2013). *The Deep Mixing Method*. CRC Press.
- Lestari M.I, Manoppo F.J, Rondonuwu S.G - Analisis Kestabilan Tanah Timbunan (Embankment) Pada Tanah Rawa Dengan Menggunakan Bambu (Studi Kasus: Jalan Toll Manado-Bitung). JURNAL ILMIAH MEDIA ENGINEERING, 2019. Vol.8 No.2, Mei 2018 (1078-1091) ISSN: 2087-9334
- Manoppo C.J, Manoppo F.J, Rondonuwu S.G (2017) Analisis Perkuatan Tanah dengan Metode Sand Compaction Pile Pada Tanah Rawa (Studi Kasus: Jalan Tol Manado Bitung Sulut) .Jurnal Sipil Statik, 2017 Vol 5, No 6 (2017)
- Mitchell, J.K., & Soga, K. (2005). *Fundamentals of Soil Behavior*, 3rd Edition. John Wiley & Sons.
- Osinubi, K. J., & Nwaiwu, C. M. (2006). Hydraulic Conductivity of Compacted Lateritic Soil Treated with Lime and Bentonite. *Journal of Environmental Engineering*, 132(2), 232–238.
- Parapaga R.T; Sarayar A.N; Legrans R.R.I; 2018, Pengaruh penambahan zeolite terhadap kuat geser pada tanah berlempung.
- Sengkey G.G.G; Legrans R.R.I; Sarayar A.N; 2024, Penggunaan Geopolymer berbahan dasar abu terbang (Fly Ash) untuk meningkatkan kuat geser tanah.
- Sorongan C.D, Manoppo F.J, Rondonuwu S.G (2018) Analisa Pile Slab Pada Tanah Rawa (Jalan Tol Manado-Bitung). TEKNO, Vol 16, No 70 (2018)
- Sridharan, A., & Prakash, K. (2000). Classification procedures for fine-grained soils. *Ground Improvement*, 4(3), 135–142.
- Sutrianingsih N.W, Rondonuwu S.G, Sompie O.B.A (2018). Uji Konsolidasi Deposit Tanah Lunak dengan menggunakan Horisontal Drain JURNAL SIPIL STATIK, Vol 6, No 12 (2018)
- Terashi, M. (2003). *The State of Practice in Deep Mixing Methods*. Grouting and Ground Treatment, ASCE Geotechnical Special Publication No. 120, pp. 25-49.
- Tulandi R.A, Rondonuwu S.G, Sarajar A.N (2022) Analisis Konsolidasi Lempung Pulutan Dengan Tambahan Geopolimer (Abu Beton) TEKNO, Vol 20, No 81 (2022)